プロセス制御を基軸としたものづくり研究

慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科 柿沼研究室
Advanced Manufacturing Science Lab (Kakinuma Lab), Faculty of Science and Technology, Keio University
〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1 教授 柿沼康弘

TEL : 045-566-1657

FAX : 045-566-1657

URL : http://ams.sd.keio.ac.jp/app-def/S-102/KKlab_hp/

E-mail : kakinuma@sd.keio.ac.jp

1. 研究室の概要

慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科 柿沼研究室は、超精密加工やアディティブマニュファクチャリングのプロセス研究と工作機械の知能化に向けたプロセス制御の研究を軸に、産業界や国内外の大学と連携しながら世の中にプロセスイノベーションを起こすことを目指している。研究室オリジナルの制御システムを構築して、自律化・知能化につながる新たな加工機能の提案を行っている。また、本塾理工学部は、最新工作機械が並ぶマニュファクチュアリングセンター、最先端のSEM, TEM, 大型産業用CT スキャンといった観察・計測機器を有する中央試験所があり、ものづくりの研究教育を行うための恵まれた環境が整っている。

2. メンバー構成

2020年度の研究室メンバーは、教員1名、事務職員1名、博士課程3名、修士課程17名（留学生含む）、学部生6名からなる。研究室運営は、3Dプリンタの研究を精力的に進めている小池綾専任講師と共同で行っており、小池研の学生を含めると総勢30名を超える大所帯の研究室である（図1は2019年度の柿沼・小池研メンバー）。稲崎一郎名誉教授、青山藤郎郎名誉教授（現常任理事）が現役当時に欧州（特にドイツ）との交流を積極的に進められたおかげで、今でもその交流は続いており、アーヘン工科大学、ライプニッツ大学ハノーファー、ミラノ工科大学などから多くの留学生を受け入れている。特にライプニッツ大学ハノーファーとは4カ月の短期交換研究留学を行っており、毎年2〜3名の学生を双方で受け入れている。また、最近ではアメリカの大学とも連携を強めている。カルフォ

図1 柿沼研メンバー（2019年度）

ルニア大学パークレー／デービス校、ウィスコンシン大学、オレゴン州立大学の研究者を招いて、学生の共同指導やジョイントワークショップなどを行っている。

生産工学の関連研究室として、青山英樹研究室（デジタルマニュファクチュアリング）、閻紀旺研究室（精密ナノ加工）、大家哲朗研究室（CAE）があり、相互に協力しながら研究教育活動を実施している。

3. 研究紹介

本研究室では、大別して①加工現象とプロセス開発、②加工機械の制御と知能化、③機能性材料の開発と応用に関する研究に取り組んでいる。それぞれを簡単に紹介する。

3.1 加工現象解析とプロセス開発

最新の分析装置・観察装置を用いて超精密加工プロセスや金属3Dプリンティングにおける加工現象の解析、プロセスの最適化、プロセスデザインの研究に力を入れている。

最近の成果としては、酸化セリウムスラリーを援用した超精密研削により光学ガラスレンズの延性モード研削の効率を15倍高めることに成功した¹⁾。また、トップダウンの手法で製作した単結晶微小光共振器として世界最高の光学性能を実現²⁾し、プレスリリースされた。

また、パウダーベッド方式ならびにパウダーノズル方式の金属3Dプリンタ（図2）の研究開発³⁾⁴⁾も小池綾専任講師と共に積極的に進めている。

3.2 加工機の制御と知能化

加工機械の安心・安全性、ユーザビリティを高めるため、付加的なセンサを用いることなくサーボ情報から加工力を推定して加工状態を判断するセンサレスプロセス監視技術と、これを応用したプロセス制御による知能化技術の開発に力を入れている。

図2 金属3Dプリンタの研究を行う学生

(a) 切削力推定機能を搭載した多軸加工機

(b) プロセス制御(不等ピッチターニング)の例

図3 センサレスプロセス制御を搭載した多軸加工機

これまでに、(i) 駆動機構に応じた切削力推定技術、(ii) 推定切削力に基づく工具状態監視、衝突検知、びびり振動検知といったプロセス監視技術、(iii) 推定切削力を応用したびびり振動抑制技術の研究開発を行い、センサレスプロセス監視／プロセス制御技術の体系化を図ってきた。図3は内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 革新的設計生産技術のプロジェクトで開発したセンサレス切削力推定機能ならびに能動的びびり振動抑制機能を搭載した多軸工作機械である。パラレルターニングを対象として、推定切削力から常時びびり振動周波数を監視して、それに応じて工具間のピッチ角を制御することでびびり振動を能動的に抑制することに成功した⁵⁾。このほか、省エネの観点から CFRP 工作機械の開発研究(図4)⁶⁾や、シリアルパラレルメカニズムの研磨ロボットによる熟練技能を再現する研究も行っている。

3.3 機能性材料の開発と応用

電気で粘着性が変化する電気粘着シートの開発とその応用に関する研究を行っている。最近では、微小部品を一度に保持固定するための電気粘着ピラーアレイの開発(図5)⁷⁾や、フレキシブル電気粘着シートの開発を進めている。

4. お わ り に

産学連携、国際連携、大学間連携を深めながら、生産加工・工作機械分野の研究教育をより一層充実させていくつ

図4 すべての要素に CFRP を適用した 5 軸工作機械

図5 電気粘着ピラーアレイ

もりである。そして、学生たちと日々の研究ライフを楽しみ、お互いを高め合いながら、新たなものづくり技術を世界に向けて発信し続けていきたい。

参 考 文 献

- 1) Y. Kakinuma et al.: Ultra-precision grinding of optical glass lenses with La-doped CeO₂ slurry, CIRP Annals, **68**, 1 (2019) 345-348.
- 2) S. Fujii et al.: All-precision-machining fabrication of ultrahigh-Q crystalline optical microresonators, Optica, **7**, 6 (2020) 694-701.
- 3) T. Kuriya et al.: Relationship between solidification time and porosity with directed energy deposition of Inconel 718 Special Issue on Advanced Manufacturing Technology, JAMDSM, **12**, 5 (2018) JAMDSM0104.
- 4) M. Ueda et al.: Intelligent process planning and control of DED (directed energy deposition) for rapid manufacturing, JAMDSM, **14**, 1 (2020) JAMDSM0015.
- 5) S. Sakata et al.: Chatter Avoidance in Parallel Turning with Unequal Pitch Angle Using Observer-based Cutting Force Estimation, Journal of Manufacturing Science and Engineering, **140**, 4 (2018) 044501.
- 6) 加藤慎ほか: 新構造材料適用省エネ型工作機械の熱変位および省エネルギー性能評価, 日本機械学会誌, (2020). doi.org/10.1299/transjsme.20-00002
- 7) K. Itoh et al.: Development of an Electro-Adhesive Micro Pillar Array via EHD Patterning, Smart Materials and Structures, **28** (2019) 034003.